

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application: 2002年 8月12日

出願番号

Application Number: 特願2002-234505

[ST.10/C]:

[JP2002-234505]

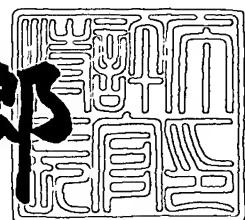
出願人

Applicant(s): 株式会社豊田中央研究所  
トヨタ自動車株式会社

2003年 3月28日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3021567

【書類名】 特許願  
【整理番号】 TCP-00172  
【提出日】 平成14年 8月12日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 B62D 6/00  
B60T 8/58

## 【発明者】

【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1 株式会社豊田中央研究所内

【氏名】 小野 英一

## 【発明者】

【住所又は居所】 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

【氏名】 稲垣 匠二

## 【特許出願人】

【識別番号】 000003609

【氏名又は名称】 株式会社豊田中央研究所

## 【特許出願人】

【識別番号】 000003207

【氏名又は名称】 トヨタ自動車株式会社

## 【代理人】

【識別番号】 100079049

【弁理士】

【氏名又は名称】 中島 淳

【電話番号】 03-3357-5171

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100084995

【弁理士】

【氏名又は名称】 加藤 和詳

【電話番号】 03-3357-5171

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 006839  
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9102478

【包括委任状番号】 9709128

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 路面摩擦状態推定装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 セルフアライニングトルクを推定するセルフアライニングトルク推定手段と、

スリップ角を推定するスリップ角推定手段と、

前記スリップ角推定手段により推定されたスリップ角にハイパスフィルタ処理を施すハイパスフィルタと、

横力を演算する横力演算手段と、

前記横力演算手段により演算された横力をスリップ角に換算するスリップ角換算手段と、

前記スリップ角換算手段により換算されたスリップ角にローパスフィルタ処理を施すローパスフィルタと、

前記ハイパスフィルタによりハイパスフィルタ処理されたスリップ角と、前記ローパスフィルタによりフィルタ処理されたスリップ角とを加算する加算手段と、

前記加算手段により加算されたスリップ角と、前記セルフアライニングトルク推定手段により推定されたセルフアライニングトルクとに基づいて、路面摩擦状態を推定する路面摩擦状態推定手段と、

を備えた路面摩擦状態推定装置。

【請求項2】 前記ハイパスフィルタ及び前記ローパスフィルタは、同一の折点周波数を有する

請求項1に記載の路面摩擦状態推定装置。

【請求項3】 前記ハイパスフィルタ及び前記ローパスフィルタの前記折点周波数の値を車両運動状態に応じて設定する

請求項2に記載の路面摩擦状態推定装置。

【請求項4】 前記路面摩擦状態推定手段は、前記加算手段により加算されたスリップ角に基づいてセルフアライニングトルク基準値を演算し、前記セルフアライニングトルク基準値と前記セルフアライニングトルク推定手段により推定

されたセルフアライニングトルクとの比に基づいて、グリップ度を推定する  
請求項1から3のいずれか1項に記載の路面摩擦状態推定装置。

【請求項5】 前記路面摩擦状態推定手段は、前記グリップ度と横加速度と  
に基づいて路面摩擦係数を推定する

請求項4に記載の路面摩擦状態推定装置。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

##### 【発明の属する技術分野】

本発明は、路面摩擦状態推定装置に係り、特に車両のタイヤに生じたセルフア  
ライニングトルクを利用して路面摩擦状態を推定する路面摩擦状態推定装置に関  
する。

##### 【0002】

##### 【従来の技術】

セルフアライニングトルク（以下「S A T」という。）を利用してグリップ状  
態を推定するものとして、特開平6-221968号公報では路面摩擦係数検出  
装置（以下「従来技術1」という。）が提案されている。

##### 【0003】

従来技術1は、操舵角に基づいて推定される前輪スリップ角の代わりに前輪横  
力を利用して、車両運動から演算される前輪横力演算値とS A Tとに基づいてグ  
リップ状態を推定する。これにより、従来技術1は、バンク路面走行時や、横力  
とスリップ角の関係が非線形となる非線形領域においても正確にグリップ状態を  
推定することができる。

##### 【0004】

しかし、従来技術1は、路面外乱の影響を受けやすく、早く操舵するとS A T  
と横力演算値の位相がずれてしまい、正確にグリップ状態を推定できない問題が  
あった。

##### 【0005】

##### 【発明が解決しようとする課題】

また、特願2001-212683号明細書には、操舵角に基づいて前輪スリ

ップ角を推定し、ドライバの操舵トルクとパワーステアリング装置のアシストトルクから操舵系の摩擦を除去してSATを推定し、前輪スリップ角及びSATとに基づいてグリップ状態を推定する技術（以下「従来技術2」という。）が記載されている。

#### 【0006】

しかし、従来技術2は、バンク路面走行時において操舵角がゼロであり、かつSATもゼロにならない場合において、前輪スリップ角を正確に推定できない非線形領域に入ってしまうと、グリップ状態を正確に推定することができないという問題があった。

#### 【0007】

本発明は、上述した課題を解決するために提案されたものであり、路面外乱の影響を受けることなく、急に操舵されても精度よく路面摩擦状態を推定することができる路面摩擦状態推定装置を提供することを目的とする。

#### 【0008】

##### 【課題を解決するための手段】

請求項1に記載の発明は、セルフアライニングトルクを推定するセルフアライニングトルク推定手段と、スリップ角を推定するスリップ角推定手段と、前記スリップ角推定手段により推定されたスリップ角にハイパスフィルタ処理を施すハイパスフィルタと、横力を演算する横力演算手段と、前記横力演算手段により演算された横力をスリップ角に換算するスリップ角換算手段と、前記スリップ角換算手段により換算されたスリップ角にローパスフィルタ処理を施すローパスフィルタと、前記ハイパスフィルタによりハイパスフィルタ処理されたスリップ角と、前記ローパスフィルタによりフィルタ処理されたスリップ角とを加算する加算手段と、前記加算手段により加算されたスリップ角と、前記セルフアライニングトルク推定手段により推定されたセルフアライニングトルクとに基づいて、路面摩擦状態を推定する路面摩擦状態推定手段と、を備えている。

#### 【0009】

セルフアライニングトルク推定手段は、タイヤに生じたセルフアライニングトルクを推定する。なお、セルフアライニングトルクの推定手法は特に限定される

ものではない。スリップ角推定手段は、前記タイヤのスリップ角を推定する。

#### 【0010】

ハイパスフィルタは、スリップ角推定手段により推定されたスリップ角にハイパスフィルタ処理を施すことで、バンク路走行時にスリップ角に含まれるドリフト誤差を除去し、セルフアライニングトルクに対して位相遅れのない高周波成分を抽出する。

#### 【0011】

横力演算手段は、前記タイヤに生じた横力を演算する。ここで、横力とタイヤのスリップ角の間には、略線形の関係が存在する。そこで、スリップ角換算手段は、このような関係を考慮して、横力からスリップ角を換算する。ローパスフィルタは、換算されたスリップ角にローパスフィルタ処理を施すことで、高周波領域に含まれる外乱ノイズ等の変動成分を除去し、バンク路走行時で正確な低周波成分を抽出する。

#### 【0012】

加算手段は、ハイパスフィルタ処理済みのスリップ角と、ローパスフィルタ処理済みのスリップ角とを加算することで、外乱ノイズやドリフト誤差のない、セルフアライニングトルクに対して位相遅れのないスリップ角を演算する。

#### 【0013】

そして、路面摩擦状態推定手段は、加算手段により加算されたスリップ角と、セルフアライニングトルク推定手段により推定されたセルフアライニングトルクとに基づいて、タイヤと路面の路面摩擦状態を推定する。

#### 【0014】

したがって、請求項1に記載の発明によれば、外乱ノイズやドリフト誤差の影響を受けることなく、直線水平路やバンク路を走行する場合であっても、精度よく路面摩擦状態を推定することができる。

#### 【0015】

請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の発明において、前記ハイパスフィルタ及び前記ローパスフィルタは、同一の折点周波数を有している。ここでさらに、前記ハイパスフィルタ及び前記ローパスフィルタのそれぞれの伝達関数の和

は、1であるのが好ましい。これにより、同一信号をハイパスフィルタとローパスフィルタに入力して、各フィルタの出力を加算した場合、元の信号が復元される。

#### 【0016】

したがって、請求項2に記載の発明によれば、外乱ノイズやドリフト誤差が除去されたスリップ角を求めることができ、このスリップ角を用いることで精度よく路面摩擦状態を推定することができる。

#### 【0017】

請求項3に記載の発明は、請求項2に記載の発明において、前記ハイパスフィルタ及び前記ローパスフィルタの前記折点周波数の値を車両運動状態に応じて設定するものである。ここにいう車両運動状態としては、例えば車速や旋回状態等が該当する。

#### 【0018】

例えば、車両が水平直線路からバンク路へ進入する場合では、ハイパスフィルタ及びローパスフィルタの折点周波数は、路面カント変化速度以上の周波数に設定されている必要がある。そこで、路面カント変化速度は車速に比例するので、車速に比例して高い周波数になるように上記折点周波数を設定すれば、バンク路進入時でも、正確に路面摩擦状態を推定することができる。

#### 【0019】

また、スピンが発生するような場合では、ハイパスフィルタ及びローパスフィルタの折点周波数は、スリップ角推定手段で推定されたスリップ角とスリップ角換算手段で換算されたスリップ角との偏差が大きくなるに従って、高い周波数になるように設定されればよい。

#### 【0020】

その理由として、上記偏差が大きくなった時とは、バンク路走行時や、横力とスリップ角との関係が線形性を有しない非線形領域になった時である。このような時、スリップ角推定手段によって推定されたスリップ角は精度が劣化しているため、横力から換算されたスリップ角を利用するのが好ましい。そこで、上記のように折点周波数を設定すれば、急激にバンク路に進入した場合や、急激にスピ

ンに陥った場合でも、正確に路面摩擦状態を推定することができる。

#### 【0021】

したがって、請求項3に記載の発明によれば、車両運動状態に応じて前記折点周波数を設定することによって、水平直線路からバンク路へ進入したり、急にスピンが発生するような車両運動状態であっても、精度よく路面摩擦状態を推定することができる。

#### 【0022】

請求項4に記載の発明は、請求項1から3のいずれか1項に記載の発明において、前記路面摩擦状態推定手段は、前記加算手段により加算されたスリップ角に基づいてセルフアライニングトルク基準値を演算し、前記セルフアライニングトルク基準値と前記セルフアライニングトルク推定手段により推定されたセルフアライニングトルクとの比に基づいて、グリップ度を推定するものである。

#### 【0023】

したがって、請求項4に記載の発明によれば、路面外乱やドリフト誤差のないスリップ角に基づいてセルフアライニングトルク基準値を演算し、このセルフアライニングトルク基準値とセルフアライニングトルクとの比からグリップ度を推定するので、横方向の摩擦力余裕に相当するグリップ度を精度よく推定することができる。

#### 【0024】

請求項5に記載の発明は、請求項4に記載の発明において、前記路面摩擦状態推定手段は、前記グリップ度と横加速度とにに基づいて路面摩擦係数を推定するものである。

#### 【0025】

したがって、請求項5に記載の発明によれば、請求項4で推定したグリップ度を用いることで、路面摩擦係数を精度よく推定することができる。なお、グリップ度が所定の判定基準以下になったときに、路面摩擦係数を推定するようにしてもよい。

#### 【0026】

#### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の好ましい実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。

#### 【0027】

図1は、本発明の実施の形態に係る路面摩擦状態推定装置の構成を示すブロック図である。路面摩擦状態推定装置は、例えば電動式パワーステアリング装置が搭載された車両に用いることができるが、後述するように油圧式パワーステアリング装置が搭載された車両にも用いることができる。。

#### 【0028】

路面摩擦状態推定装置は、操舵トルクを検出する操舵トルクセンサ11と、モータ電流を検出する電流センサ12と、操舵角を検出する操舵角センサ13と、車速を検出する車速センサ14と、横加速度を検出する横加速度センサ15と、ヨーレートを検出するヨーレートセンサ16と、各センサから出力された信号を用いて路面摩擦状態を推定する電子制御ユニット（以下「ECU」という。）20とを備えている。

#### 【0029】

操舵トルクセンサ11は、ステアリングシャフトと同軸上に取り付けられており、操舵軸に作用する操舵トルクに応じたセンサ信号を出力して、ECU20に供給する。電流センサ12は、電動式パワーステアリング装置で使用される電動モータのモータ電流に応じたセンサ信号を出力して、ECU20に供給する。

#### 【0030】

操舵角センサ13は、ドライバの操舵による操舵角 $\theta_p$ に応じたセンサ信号を出力し、ECU20に供給する。車速センサ14は、車速（車体速度） $u$ に応じたセンサ信号を出力して、ECU20に供給する。

#### 【0031】

横加速度センサ15は、車両の横方向の加速度（横加速度）に応じたセンサ信号を出力し、ECU20に供給する。ヨーレートセンサ16は、車体重心回りの回転角速度であるヨーレートに応じたセンサ信号を出力し、ECU20に供給する。

#### 【0032】

図2は、ECU20の機能的な構成を示すブロック図である。

#### 【0033】

ECU20は、操舵トルクを検出する操舵トルク検出部21と、アシストトルクを検出するアシストトルク検出部22と、SATを推定するSAT推定部23と、スリップ角を推定するスリップ角推定部24、スリップ角にハイパスフィルタ処理を施すハイパスフィルタ25と、を備えている。

#### 【0034】

ECU20は、さらに、車両の前輪横力を演算する横力演算部26と、前輪横力をスリップ角に換算するスリップ角換算部27と、換算されたスリップ角にローパスフィルタ処理施すローパスフィルタ28と、フィルタ処理済みの2つのスリップ角を加算する加算器29と、グリップ度を推定するグリップ度推定部30と、路面摩擦係数（以下「路面 $\mu$ 」という。）を推定する路面 $\mu$ 推定部31と、を備えている。

#### 【0035】

操舵トルク検出部21は、操舵トルクセンサ11のセンサ信号に基づいて、ドライバが操舵したときに作用する操舵トルクを検出し、検出した操舵トルクをSAT推定部23に供給する。

#### 【0036】

アシストトルク検出部22は、電流センサ12のセンサ信号に基づくモータ電流と、予め設定されたパラメータ（例えば、ピニオンリード、ボールネジリード、アシストモータトルク係数）とに基づいて、電動式パワーステアリング装置に作用するアシストトルクを検出し、アシストトルクをSAT推定部23に供給する。なお、アシストトルク検出部22は、上記モータ電流の代わりに、電動式パワーステアリング装置のモータに出力する電流指令値を使ってもよい。

#### 【0037】

SAT推定部23は、操舵トルク検出部21で検出された操舵トルクと、アシストトルク検出部22で検出されたアシストトルクとの和を演算することで、操舵系の摩擦を除去して、路面とタイヤ間で発生するSATを推定する。

#### 【0038】

図3は、操舵トルクとアシストトルクの和に対するSAT推定値を示す図である。2本の直線の幅は、操舵系の摩擦によるヒステリシス特性の大きさを表したものである。また、それぞれの直線の傾きは1である。

## 【0039】

図4は、ヒステリシス特性の除去方法を説明するために表した操舵トルクとアシストトルクの和に対するSAT推定値を示す図である。

## 【0040】

操舵トルクとアシストトルクの和がゼロ、スリップ角もゼロとなる直進状態では、ヒステリシス特性は発生しておらず、このときのSAT推定値は0となる。

## 【0041】

次に操舵が行われ、SATが発生した場合、SAT推定値は、操舵トルクとアシストトルクの和に対し傾き $K_1$ で演算される。具体的には、SAT推定部23は、離散化されたロジックにより、次の(1)式を演算する。

## 【0042】

## 【数1】

$$T_{SAT}(k+1) = T_{SAT}(k) + K_1 \cdot (T_{DA}(k+1) - T_{DA}(k)) \quad \cdots (1)$$

## 【0043】

ただし、 $T_{SAT}$ はSAT推定値、 $T_{DA}$ は操舵トルクとアシストトルクの和である。また、クーロン摩擦等によって操舵トルクとアシストトルクの和が変動しても、SAT推定値の変動は小さいことを表現するために、傾き $K_1$ は1に比較して小さく設定されている。

## 【0044】

操舵が行われた場合、(1)式によるSAT推定値は、図4におけるA点まで達する。さらに、操舵トルクとアシストトルクの和が増加する場合には、SAT推定値は、モデルの下限を示す直線、すなわち(2)式に従って増加する。

## 【0045】

【数2】

$$T_{SAT}(k+1) = T_{SAT}(k) + T_{DA}(k+1) - T_{DA}(k) \quad \cdots (2)$$

【0046】

さらに操舵が行われ、B点まで達したところで切り増しが終了し、操舵トルクとアシストトルクの和が減少し始めた場合には、傾きK<sub>1</sub>で(1)式に従ってSAT推定値は減少する。この領域では、操舵トルクとアシストトルクの和の変動に対し、SAT推定値の変動は小さくなるように設定されている。これは、旋回時の保舵状態において、ドライバの操舵力が多少変化しても、パワーステアリング装置のクーロン摩擦等の影響によってSAT推定値に影響が現れないようにしたものである。

【0047】

なお、B点からSATの減少によって到達したC点において、再び操舵トルクとアシストトルクの和が増加する場合には、(1)式に従いB点に向かってSAT推定値は増加する。また、切戻しによりC点からさらに操舵トルクとアシストトルクの和が減少し、モデルの上限に達した場合には、SAT推定値は上限を示す直線、すなわち(2)式に従って減少する。このような2種類の傾きの設定によって、ヒステリシス特性が除去される。

【0048】

図5(A)は高μ路走行時の操舵トルクとアシストトルクの和の時間応答波形、(B)は高μ路走行時のSAT推定値の時間応答波形を示す図である。同図(A)の操舵トルクとアシストトルクの和の値から、(1)式及び(2)式に基づいてヒステリシス特性を除去すると、同図(B)のSAT推定値になる。この結果、ヒステリシス特性を除去することによって、クーロン摩擦等の影響と考えられる保舵時の変動をほぼ補償することができる。

【0049】

図6(A)は高μ路、低μ路走行時のスリップ角に対する操舵トルクとアシストトルクの和の関係を示す図であり、(B)は高μ路、低μ路走行時のスリップ角に対するSAT推定値の関係を示す図である。同図(B)によると、スリップ

角に対するSAT推定値は、高 $\mu$ 路、低 $\mu$ 路走行時のいずれの場合であっても、略直線状になり、ヒステリシス特性が除去されていることが分かる。

## 【0050】

スリップ角推定部24は、操舵角センサ13のセンサ信号に基づく操舵角 $\theta_p$  [rad]と、車速センサ14のセンサ信号に基づく車速 $u$  [m/s]とに基づいて、前輪タイヤのスリップ角である前輪スリップ角 $\alpha_E$  [rad]を推定する。ここで、前輪スリップ角 $\alpha_E$ は、車両運動の動特性を利用すると、(3)式及び(4)式の状態方程式によって表される。

## 【0051】

## 【数3】

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} v \\ r \end{bmatrix} = \left[ \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} -\frac{c_f + c_r}{M} & -\frac{L_f c_f - L_r c_r}{M} \\ -\frac{L_f c_f - L_r c_r}{I_z} & -\frac{L_f^2 c_f + L_r^2 c_r}{I_z} \end{bmatrix} / u \right] \begin{bmatrix} v \\ r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{c_f}{M g_h} \\ \frac{L_f c_f}{I_z g_h} \end{bmatrix} \theta_p \quad \cdots (3)$$

$$\alpha_E = [1 \ L_f] / u \begin{bmatrix} v \\ r \end{bmatrix} - \frac{\theta_p}{g_h} \quad \cdots (4)$$

## 【0052】

ただし、 $v$ ：横速度 [m/s]、 $r$ ：ヨーレート [rad/s]、 $u$ ：車速 [m/s]、 $c_f$ ：前輪コーナリングパワー [N/rad]、 $c_r$ ：後輪コーナリングパワー [N/rad]、 $L_f$ ：前軸重心間距離 [m]、 $L_r$ ：後軸重心間距離 [m]、 $M$ ：車両質量 [kg]、 $I_z$ ：ヨー慣性 [kg m<sup>2</sup>]、 $g_h$ ：ハンドル実舵間ギヤ比である。

## 【0053】

上記(3)式及び(4)式をサンプル時間 $\tau$ で離散化し、車速 $u$ の関数として表現すると、次の(5)式及び(6)式が得られる。

## 【0054】

【数4】

$$\mathbf{x}(k+1) = \left( \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\tau \\ 0 & 0 \end{bmatrix} u(k) + \tau A_s / u(k) \right) \mathbf{x}(k) + \tau B_s \theta_p(k) \quad \dots (5)$$

$$\alpha_E(k) = [1 \ L_f] \mathbf{x}(k) / u(k) - \theta_p(k) / g_h \quad \dots (6)$$

【0055】

ただし、kはサンプリング番号である。また、(5)式のA<sub>s</sub>及びB<sub>s</sub>は、次の(7)式で表される。

【0056】

【数5】

$$A_s = \begin{bmatrix} -\frac{c_f + c_r}{M} & -\frac{L_f c_f - L_r c_r}{M} \\ -\frac{L_f c_f - L_r c_r}{I_z} & -\frac{L_f^2 c_f + L_r^2 c_r}{I_z} \end{bmatrix}, \quad B_s = \begin{bmatrix} \frac{c_f}{M g_h} \\ \frac{L_f c_f}{I_z g_h} \end{bmatrix} \quad \dots (7)$$

【0057】

スリップ角推定部24は、サンプル時間τ毎に、(5)から(7)式に従って演算することで前輪スリップ角α<sub>E</sub>を推定し、前輪スリップ角α<sub>E</sub>をハイパスフィルタ25に供給する。

【0058】

ハイパスフィルタ25は、スリップ角推定部24で推定された前輪スリップ角α<sub>E</sub>にハイパスフィルタ処理を施す。ここで、スリップ角推定部24で推定された前輪スリップ角α<sub>E</sub>は、バンク路走行時に操舵中立点が移動した場合には低周波領域にドリフト誤差を含んでしまうが、高周波領域にはSAT推定値に対して位相遅れのない信号成分を含んでいる。そこで、ハイパスフィルタ25は、前輪スリップ角α<sub>E</sub>にハイパスフィルタ処理を施すことで、低周波領域のドリフト誤差を除去すると共に、SAT推定値に対して位相遅れのない高周波成分のみを抽出する。

【0059】

ハイパスフィルタ25は、1次の離散フィルタによって構成される。ここで、

連続時間における1次ハイパスフィルタは、(8)式の伝達関数によって表される。

【0060】

【数6】

$$G_H(s) = \frac{s}{s + \omega_b} \quad \cdots (8)$$

【0061】

ただし、 $\omega_b$ は折点周波数である。(8)式をTustin変換などの手法を用いて変換すると、離散時間のハイパスフィルタを設計することができる。Tustin変換において、サンプリング時間をT、時間進みオペレータをzとした場合、sは(9)式で表される。

【0062】

【数7】

$$s = \frac{2(z-1)}{T(z+1)} \quad \cdots (9)$$

【0063】

(9)式を(8)式に代入すると、離散時間のハイパスフィルタは、(10)式で表される。

【0064】

【数8】

$$G_L(z) = \frac{2(z-1)}{(T\omega_b + 2)z + T\omega_b - 2} \quad \cdots (10)$$

【0065】

ハイパスフィルタ25は、(10)式に従って前輪スリップ角 $\alpha_E$ にハイパスフィルタ処理を施し、フィルタ処理された前輪スリップ角 $\alpha_E$ を加算器29に供給する。

【0066】

横力演算部26は、横加速度センサ15のセンサ信号に基づく横加速度 $g_y$ と、ヨーレートセンサ16のセンサ信号に基づくヨーレート $r$ とを用いて、前輪タ

イヤに生じた横力である前輪横力  $F_f$  を演算する。ここで、前輪横力  $F_f$  は、横加速度  $g_y$  については次の（11）式の運動方程式を満たし、ヨーレート  $r$  については次の（12）式の運動方程式を満たす。

【0067】

【数9】

$$M \left( \frac{dv}{dt} + ru \right) = F_f + F_r \quad \cdots (11)$$

$$I_z \frac{dr}{dt} = L_f F_f - L_r F_r \quad \cdots (12)$$

【0068】

ただし、 $F_r$  は後輪横力である。また、横加速度  $g_y$  は、次の（13）式の通りである。

【0069】

【数10】

$$g_y = \frac{dv}{dt} + ru \quad \cdots (13)$$

【0070】

(11) 式及び(12)式を整理すると、前輪横力  $F_f$  は(14)式のようになる。

【0071】

【数11】

$$F_f = \frac{L_r M g_y + I_z \frac{dr}{dt}}{L_f + L_r} \quad \cdots (14)$$

【0072】

そこで、横力演算部26は、ヨーレート  $r$  と横加速度  $g_y$  とを用いて、(14)式に従って前輪横力  $F_f$  を演算し、前輪横力  $F_f$  をスリップ角換算部27に供給する。

【0073】

スリップ角換算部27は、横力演算部26から供給された前輪横力 $F_f$ を前輪コーナリングパワー $c_f$ で除算することで、前輪横力 $F_f$ を前輪スリップ角 $\alpha_T$ に換算する。具体的には、次の(15)式を演算する。

【0074】

【数12】

$$\alpha_T = -\frac{F_f}{c_f} \quad \cdots (15)$$

【0075】

ローパスフィルタ28は、スリップ角換算部27で演算された前輪スリップ角 $\alpha_T$ にローパスフィルタ処理を施す。ここで、スリップ角換算部27で演算された前輪スリップ角 $\alpha_T$ は、高周波領域に路面外乱の影響を受けたノイズや位相遅れ等の変動成分を含んでいるものの、バンク路走行時であっても影響されない低周波成分を含んでいる。そこで、ローパスフィルタ28は、前輪スリップ角 $\alpha_T$ にローパスフィルタ処理を施すことで、高周波領域の変動成分を除去すると共に、正確に演算された低周波成分のみを抽出する。

【0076】

具体的には、ローパスフィルタ28は、ハイパスフィルタ25と同じ折点周波数を有する1次の離散フィルタとして構成されている。ここで、連続時間における1次ローパスフィルタは、次の(16)式の伝達関数によって表される。

【0077】

【数13】

$$G_L(s) = \frac{\omega_b}{s + \omega_b} \quad \cdots (16)$$

【0078】

(16)式をTustin変換すると、離散時間のローパスフィルタとなり、次の(17)式で表される。

【0079】

【数14】

$$G_L(z) = \frac{T\omega_b(z+1)}{(T\omega_b + 2)z + T\omega_b - 2} \quad \cdots (17)$$

【0080】

ローパスフィルタ28は、(17)式に従って前輪スリップ角 $\alpha_T$ にローパスフィルタ処理を施し、フィルタ処理された前輪スリップ角 $\alpha_T$ を加算器29に供給する。

【0081】

なお、折れ点周波数は、特に限定されるものではないが、路面外乱に伴うノイズを除去できるように、また、バンク路進入時に路面カント変化速度に対応できるような周波数であるのが好ましい。

【0082】

加算器29は、ハイパスフィルタ25から供給された前輪スリップ角 $\alpha_E$ と、ローパスフィルタ28から供給された前輪スリップ角 $\alpha_T$ とを加算して、統合スリップ角 $\alpha_I$ を演算する。すなわち、次の(18)式を演算する。

【0083】

【数15】

$$\alpha_I(z) = G_H(z) \cdot \alpha_E(z) + G_L(z) \cdot \alpha_T(z) \quad \cdots (18)$$

【0084】

ここで、ハイパスフィルタ25の伝達関数とローパスフィルタ28の伝達関数の和は、1となる。これは、同一信号をハイパスフィルタとローパスフィルタに入力し、各フィルタの出力を加算した場合、元の信号が復元されることを意味している。したがって、加算器29は、ドリフト誤差やノイズ等の影響を受けないスリップ角 $\alpha_I$ を演算することができる。

【0085】

図7は、バンク路進入時のスリップ角推定値 $\alpha_E$ 、スリップ角換算値 $\alpha_T$ 、統合スリップ角 $\alpha_I$ の時間応答波形を示す図である。この実験では、5秒付近でバンクに進入し、その後6秒付近で左に操舵した。これに伴ってスリップ角推定値 $\alpha$

$\alpha_E$ は負の値になった。バンク路走行時には、操舵中立点が移動（図7では正方向に移動）する。したがって、グリップ度推定部30で用いるスリップ角は、操舵中立点移動に伴って修正される必要がある。

## 【0086】

ここで、操舵角から推定されたスリップ角推定値 $\alpha_E$ は、バンク路進入後であっても操舵開始までの区間（5秒から6秒の区間）はゼロになった。また、横力から演算されたスリップ角換算値 $\alpha_T$ は、バンク路進入時に操舵中立点の移動に対応して正方向に変動したが、路面外乱に応じたノイズを多く含んでいた。これに対して、これらの信号をフィルタ処理によって統合した統合スリップ角 $\alpha_I$ は、ノイズが除去されていると共に、操舵中立点の移動に対応して正方向に変動したことが分かる。

## 【0087】

グリップ度推定部30は、SAT推定部23で推定されたSAT推定値 $T_{SAT}$ と、加算器29で演算された統合スリップ角 $\alpha_I$ とに基づいて、横方向の摩擦力余裕に相当するグリップ度 $\varepsilon$ を推定する。

## 【0088】

ここで、グリップ度 $\varepsilon$ は、SAT推定値 $T_{SAT}$ とSAT基準値 $T_{SAT0}$ の比であり、次の(19)式で表される。

## 【0089】

## 【数16】

$$\varepsilon \cong \frac{T_{SAT}}{T_{SAT0}} \quad \dots (19)$$

## 【0090】

SAT基準値 $T_{SAT0}$ は、スリップ角0で線形化された線形モデルのSAT値であり、高グリップ状態（すなわちグリップ度=1）の状態のSAT値である。SAT値のスリップ角に対する原点勾配を $K_0$ とすると、SAT基準値 $T_{SAT0}$ は、原点勾配 $K_0$ と統合スリップ角 $\alpha_I$ の積で表される。したがって、グリップ度 $\varepsilon$ は、次の(20)式となる。

## 【0091】

【数17】

$$\varepsilon \cong \frac{T_{SAT}}{T_{SAT0}} = \frac{T_{SAT}}{K_0 \cdot \alpha_I} \quad \cdots (20)$$

【0092】

グリップ度推定部30は、SAT推定値 $T_{SAT}$ と統合スリップ角 $\alpha_I$ とを用いて、(20)式に従ってグリップ度 $\varepsilon$ を演算し、グリップ度 $\varepsilon$ を路面 $\mu$ 推定部31に供給する。

【0093】

なお、グリップ度推定部30は、上述した手法によってグリップ度 $\varepsilon$ を推定する場合に限らず、例えば、SAT基準値 $T_{SAT0}$ とSAT推定値 $T_{SAT}$ の関数でグリップ度 $\varepsilon$ を表してもよいし、SAT基準値 $T_{SAT0}$ とSAT推定値 $T_{SAT}$ の2次元マップでグリップ度 $\varepsilon$ を記述してもよい。

【0094】

図8は、ドライアスファルトのバンク路を走行したときのスリップ角に対するSAT推定値を示す図である。なお、スリップ角として、統合スリップ角 $\alpha_I$ を用いた場合を実線で示し、スリップ角推定値 $\alpha_E$ を用いた場合を点線で示している。また、参考のためSAT基準値 $T_{SAT0}$ を破線で示した。

【0095】

図9は、図8の実験と共に測定したデータであり、ドライアスファルトのバンク路を走行したときの(A)グリップ度、(B)操舵角の時間応答波形を示す図である。なお、同図(A)において、統合スリップ角 $\alpha_I$ を用いたグリップ度を実線で示し、スリップ角推定値 $\alpha_E$ を用いたグリップ度を点線で示した。さらに、演算されたグリップ度が1を超えた場合は、1とした。

【0096】

スリップ角推定値 $\alpha_E$ は、バンク走行時には操舵中立点移動の影響を受けるため、図8に示すように、負の方向に変動した。この結果、スリップ角推定値 $\alpha_E$ はSAT基準値 $T_{SAT0}$ と比較して絶対値が小さくなり、図9に示すように、グリップ度は小さくなった。

【0097】

これに対して、統合スリップ角 $\alpha_I$ は、バンク走行時であっても操舵中立点移動の影響を受けていない。つまり、図8に示すように、統合スリップ角 $\alpha_I$ に対するSAT推定値の関係は、SAT基準値 $T_{SAT0}$ を表す直線とほぼ一致した。また、図9に示すように、グリップ度は1となった。

## 【0098】

以上の実験結果によれば、ドライアスファルトのバンク路面の場合、グリップ度は常に1付近の値にならなければならない。しかし、スリップ角推定値 $\alpha_E$ を用いたグリップ度は、1より小さな値になり、明らかな誤りであることが分かった。一方、統合スリップ角 $\alpha_I$ を用いたグリップ度は、常に1になり、正確に推定されたことが確認された。

## 【0099】

路面 $\mu$ 推定部31は、グリップ度推定部30で推定されたグリップ度 $\varepsilon$ が所定の判定基準以下（例えば、 $\varepsilon \leq 0.5$ ）の状態になると、グリップ度 $\varepsilon$ と横加速度 $g_y$ から路面 $\mu_{est}$ を推定する。ここで、路面 $\mu_{est}$ は、次の(21)式によって表される。

## 【0100】

## 【数18】

$$\mu_{est} = \frac{g_{fy}}{(1 - \varepsilon)g} \quad \dots (21)$$

## 【0101】

ただし、 $g$ は重力加速度である。また、 $g_{fy}$ は前輪位置横加速度であり、次の(22)式で表される。

## 【0102】

## 【数19】

$$g_{fy} = \frac{L_r g_y + \frac{I_z}{M} \frac{dr}{dt}}{L_f + L_r} \quad \dots (22)$$

## 【0103】

このように求められた路面 $\mu_{est}$ は、グリップ度 $\varepsilon$ が小さいほど、すなわち限

界に近いほど推定精度が向上する。そこで、路面  $\mu$  推定部 31 は、上述のように、グリップ度  $\varepsilon$  が所定の判定基準以下になったときに、(21) 式及び(22)式に従って路面  $\mu_{est}$  を推定する。

#### 【0104】

図10は氷上路を40km/hで走行したときの(A)グリップ度、(B)路面  $\mu_{est}$  ( $\mu$  推定値)、(C)操舵角の時間応答波形を示す図である。同図(B)の判定フラグは、グリップ度が判定基準以下になったときに1になり、グリップ度が判定基準を超えたときに0になるフラグである。図10によると、判定フラグが1のときでは、 $\mu$  推定値は常に0.3付近(=氷上路の路面  $\mu$ )の値になった。

#### 【0105】

図11は、圧雪路を40km/hで走行したときの(A)グリップ度、(B)路面  $\mu_{est}$  ( $\mu$  推定値)、(C)操舵角の時間応答波形を示す図である。図11によると、判定フラグが1のときでは、 $\mu$  推定値は、氷上路走行時の場合と比べて大きくなり、常に0.5付近(=圧雪路の路面  $\mu$ )の値になった。

#### 【0106】

図12は、ドライアスファルト路を40km/hで走行したときの(A)グリップ度、(B)路面  $\mu_{est}$  ( $\mu$  推定値)、(C)操舵角の時間応答波形を示す図である。図12によると、グリップ度は常に判定基準(0.5)以上になり、判定フラグも常に0になった。このため、図11や図12とほぼ同様の操舵を行つたにもかかわらず、タイヤと路面間の摩擦力に十分な余裕が残っており、 $\mu$  推定値は推定されなかった。

#### 【0107】

以上のように、本実施の形態に係る路面摩擦状態推定装置は、ハイパスフィルタ25及びローパスフィルタ28によって抽出された統合スリップ角からSAT基準値  $T_{SAT0}$  を演算し、SAT基準値  $T_{SAT0}$  とSAT推定部23で推定されたSAT推定値  $T_{SAT}$  の比を演算することで、横方向の摩擦力余裕に相当するグリップ度  $\varepsilon$  を高精度に推定することができる。そして、グリップ度  $\varepsilon$  が判定基準以下になったときには、路面  $\mu$  を高精度に推定することができる。

## 【0108】

特に、路面摩擦状態推定装置は、スリップ角推定値 $\alpha_E$ をハイパスフィルタ25に通すことによって、バンク路走行時の操舵中立点の移動によるドリフト誤差を除去して、精度よくグリップ度 $\varepsilon$ や路面 $\mu$ の路面摩擦状態を推定することができる。さらに、スリップ角換算値 $\alpha_T$ をローパスフィルタ28に通すことによって、路面外乱の影響を受けることなく、精度よく路面摩擦状態を推定することができる。

## 【0109】

## (その他の実施形態)

ここで、ハイパスフィルタ25及びローパスフィルタ28の折点周波数は、固定であってもよいが、バンク路進入時の路面カント変化速度（路面が傾く変化速度）以上に設定されることが必要である。ここで、路面カント変化速度は車速に比例するものである。そこで、ハイパスフィルタ25及びローパスフィルタ28は、車速が大きくなるに従って、高周波数の折点周波数になるように構成してもよい。

## 【0110】

路面摩擦状態推定装置は、このような構成のハイパスフィルタ25及びローパスフィルタ28を備えることで、高速でバンクに進入する場合であっても、正確に路面摩擦状態を推定することができる。

## 【0111】

また、ハイパスフィルタ25及びローパスフィルタ28は、スリップ角推定値 $\alpha_E$ とスリップ角換算値 $\alpha_T$ との偏差が大きくなるに従って、高周波数の折点周波数になるように構成されてもよい。その理由として、スリップ角推定値 $\alpha_E$ とスリップ角換算値 $\alpha_T$ との偏差が大きくなった時は、バンク路走行時や、横力とスリップ角との関係が線形性を有しない非線形領域になった時である。このような時、操舵中立点変化やタイヤの非線形の影響を受けない前輪横力 $F_f$ に基づくスリップ角換算値 $\alpha_T$ を利用するのが好ましい。

## 【0112】

路面摩擦状態推定装置は、このような構成のハイパスフィルタ25及びローパ

スフィルタ28を備えることで、車両運動状態に応じて、操舵角に基づくスリップ角推定値 $\alpha_E$ よりも前輪横力 $F_f$ に基づくスリップ角換算値 $\alpha_T$ を使用する割合を高めることができる。この結果、例えば急激にバンク路に進入した場合や、急激にスピニ状態に陥った場合であっても、正確に路面摩擦状態を推定することができる。

#### 【0113】

なお、本発明は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載された範囲内で様々な設計上の変更を行うことができる。

#### 【0114】

例えば、上述した実施の形態では、電動式パワーステアリング装置を用いてグリップ度や路面 $\mu$ を推定する場合を例に挙げて説明したが、油圧式パワーステアリング装置を用いることもできる。この場合、油圧式パワーステアリング装置の油圧等を計測して操舵トルク及びアシストトルクに対応するトルクをそれぞれ検出することで、上述した実施の形態と同様にしてグリップ度や路面 $\mu$ を推定することができる。

#### 【0115】

また、上述した実施の形態では、1次伝達関数を用いてハイパスフィルタ25及びローパスフィルタ28を表したが、その他の関数を用いてもよい。

#### 【0116】

##### 【発明の効果】

本発明に係る路面摩擦状態推定装置は、推定されたスリップ角にローパスフィルタ処理を施すと共に、横力から換算されたスリップ角にローパスフィルタ処理を施した後、フィルタ処理された2つのスリップ角を加算し、加算されたスリップ角とセルフアライニングトルクとに基づいて路面摩擦状態を推定することにより、路面外乱やドリフト誤差の影響を受けることなく、精度よく路面摩擦状態を推定することができる。

##### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

本発明の実施の形態に係る路面摩擦状態推定装置の構成を示すブロック図であ

る。

【図2】

ECUの機能的な構成を示すブロック図である。

【図3】

操舵トルクとアシストトルクの和に対するSAT推定値を示す図である。

【図4】

ヒステリシス特性の除去方法を説明するために表した操舵トルクとアシストトルクの和に対するSAT推定値を示す図である。

【図5】

(A) は高 $\mu$ 路走行時の操舵トルクとアシストトルクの和の経時変化を示す図であり、(B) は高 $\mu$ 路走行時のSAT推定値の経時変化を示す図である。

【図6】

(A) は高 $\mu$ 路、低 $\mu$ 路走行時のスリップ角に対する操舵トルクとアシストトルクの和の関係を示す図であり、(B) は高 $\mu$ 路、低 $\mu$ 路走行時のスリップ角に対するSAT推定値の関係を示す図である。

【図7】

バンク路進入時のスリップ角推定値 $\alpha_E$ 、スリップ角換算値 $\alpha_T$ 、統合スリップ角 $\alpha_I$ の時間応答波形を示す図である。

【図8】

ドライアスファルトのバンク路を走行したときのスリップ角に対するSAT推定値を示す図である。

【図9】

ドライアスファルトのバンク路を走行したときの(A) グリップ度、(B) 操舵角の時間応答波形を示す図である。

【図10】

氷上路を40km/hで走行したときの(A) グリップ度、(B) 路面 $\mu_{est}$ ( $\mu$ 推定値)、(C) 操舵角の時間応答波形を示す図である。

【図11】

圧雪路を40km/hで走行したときの(A) グリップ度、(B) 路面 $\mu_{est}$

( $\mu$ 推定値)、(C)操舵角の時間応答波形を示す図である。

【図12】

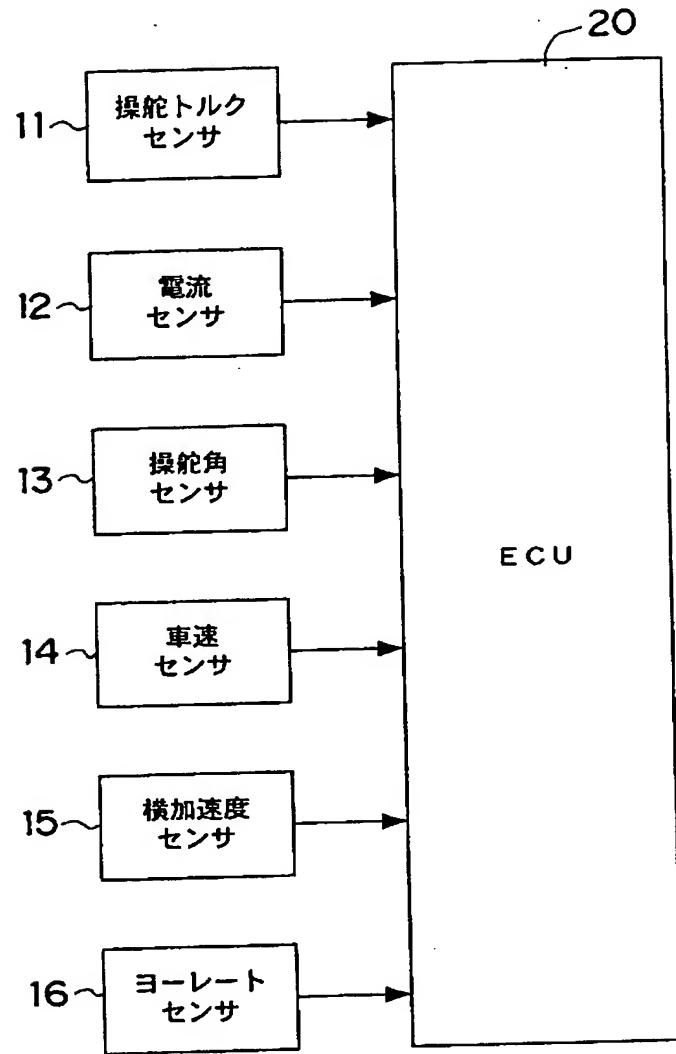
ドライアスファルト路を40km/hで走行したときの(A)グリップ度、(B)路面 $\mu_{est}$ ( $\mu$ 推定値)、(C)操舵角の時間応答波形を示す図である。

【符号の説明】

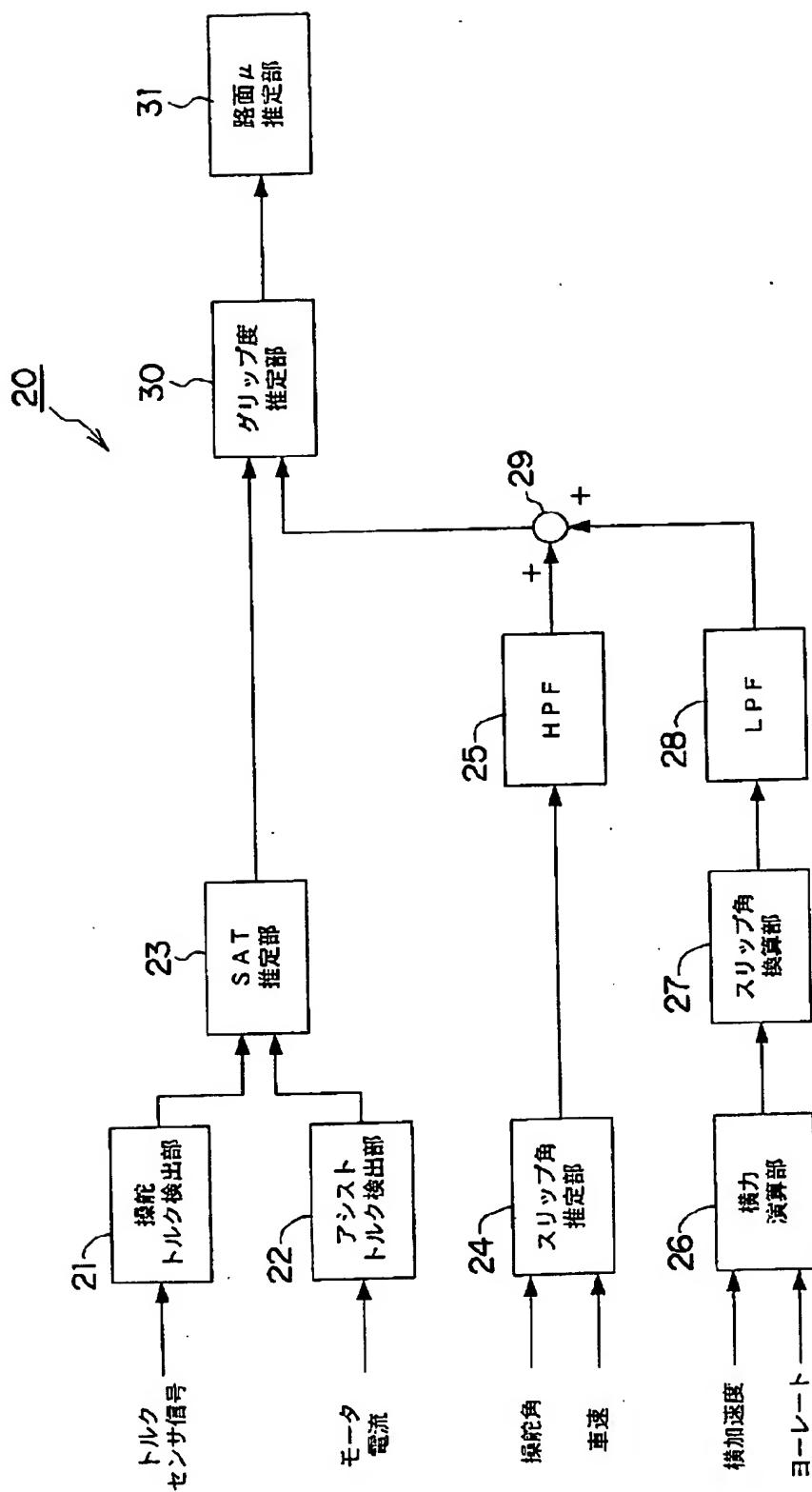
- 2 1 操舵トルク検出部
- 2 2 アシストトルク検出部
- 2 3 SAT推定部
- 2 4 スリップ角推定部
- 2 5 ハイパスフィルタ
- 2 6 横力演算部
- 2 7 スリップ角換算部
- 2 8 ローパスフィルタ
- 2 9 加算器
- 3 0 グリップ度推定部
- 3 1 路面 $\mu$ 推定部

【書類名】 図面

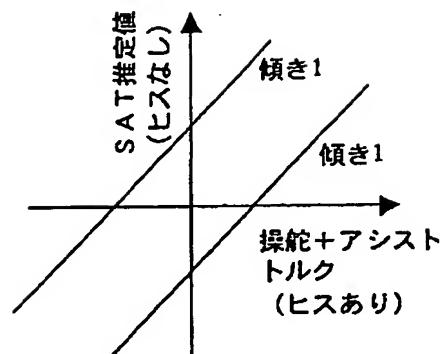
【図1】



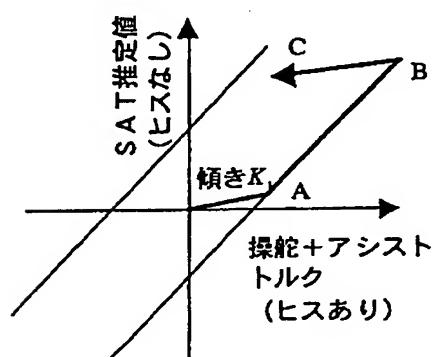
【図2】



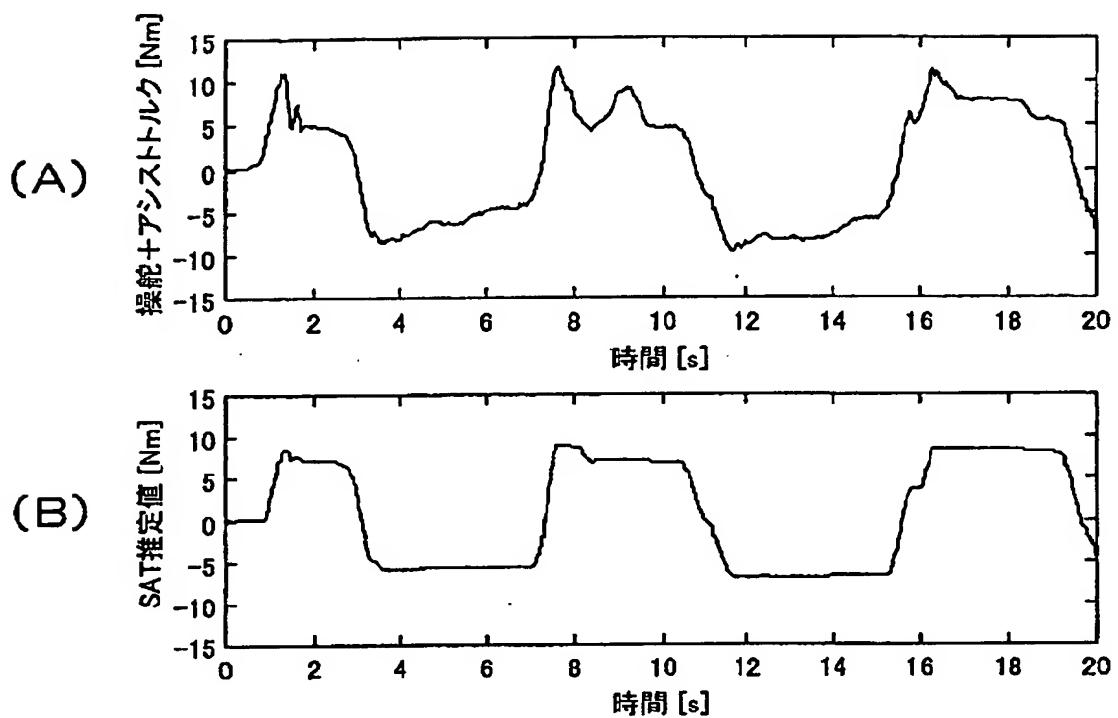
【図3】



【図4】

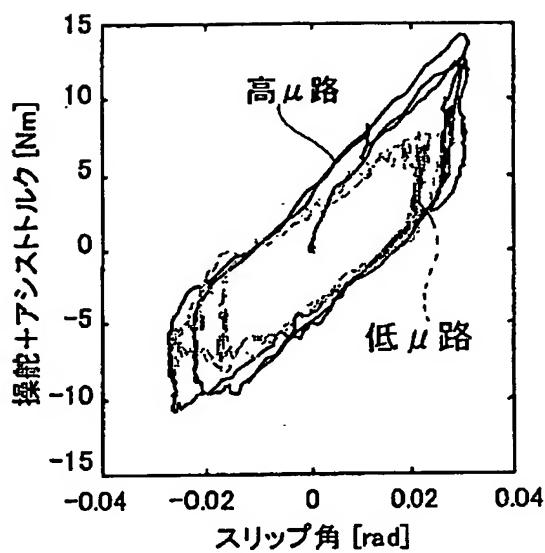


【図5】

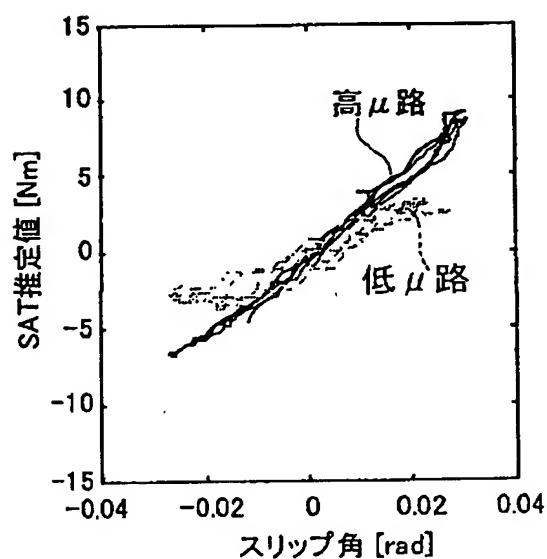


【図 6】

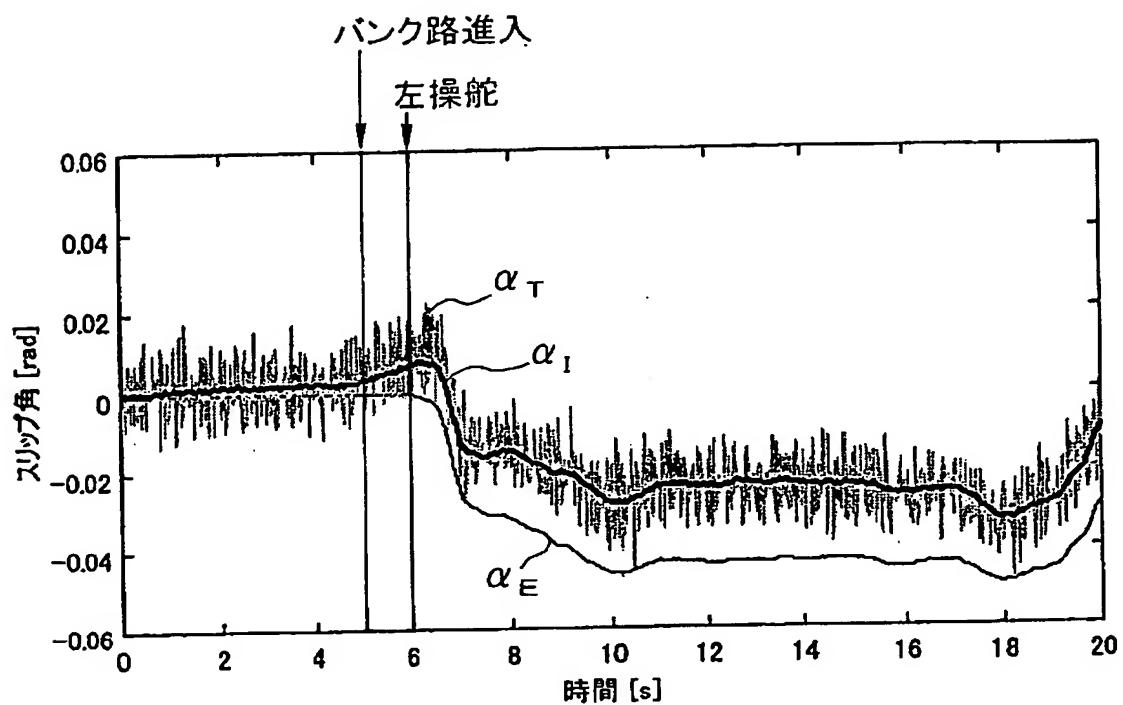
(A)



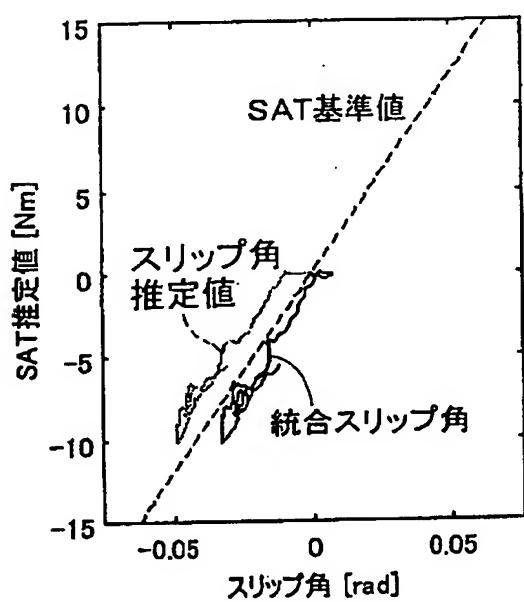
(B)



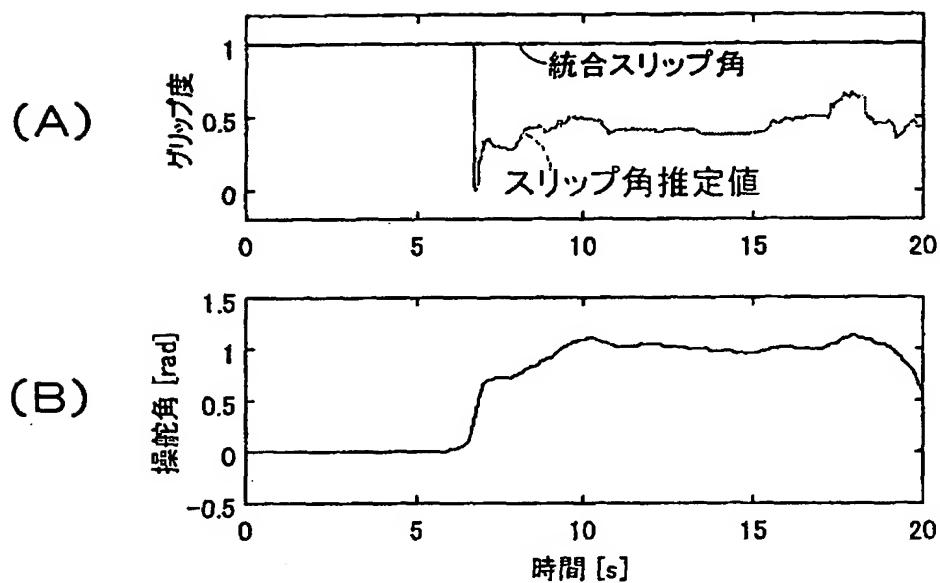
【図7】



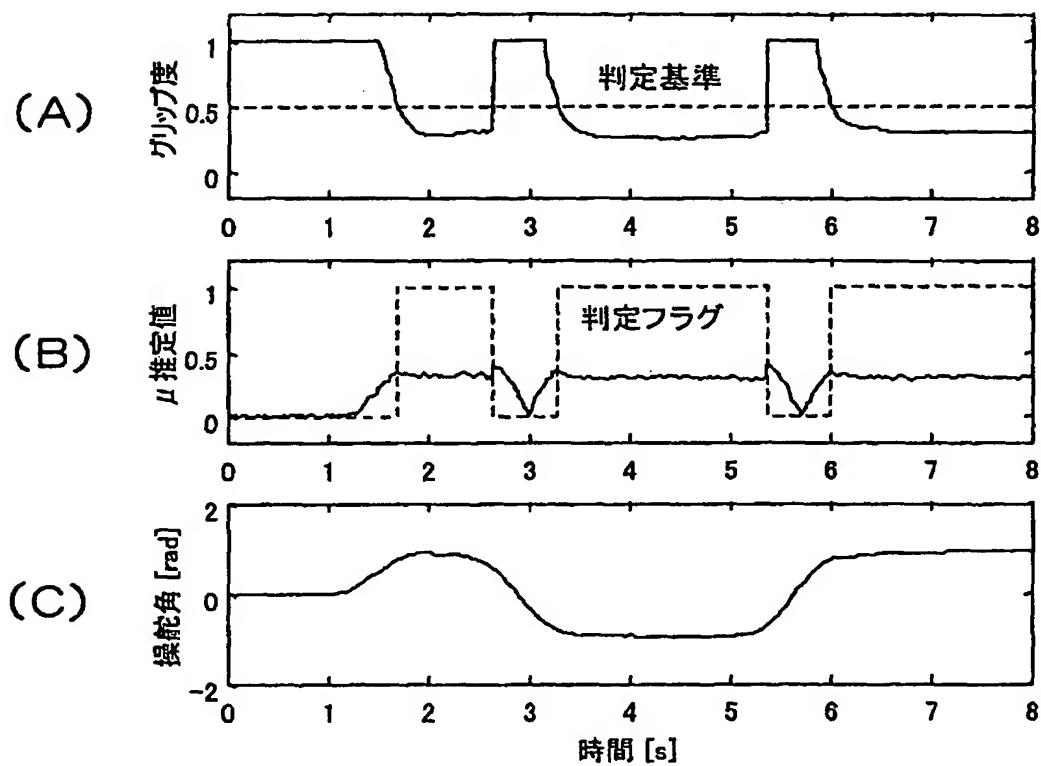
【図8】



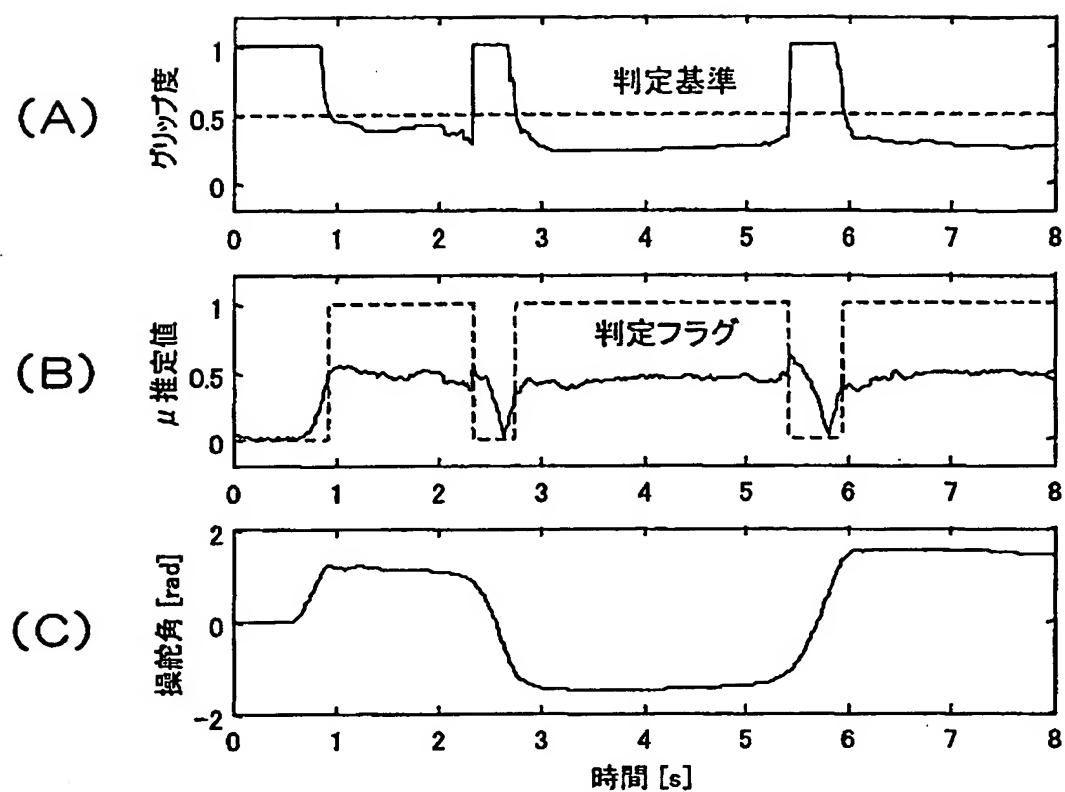
【図9】



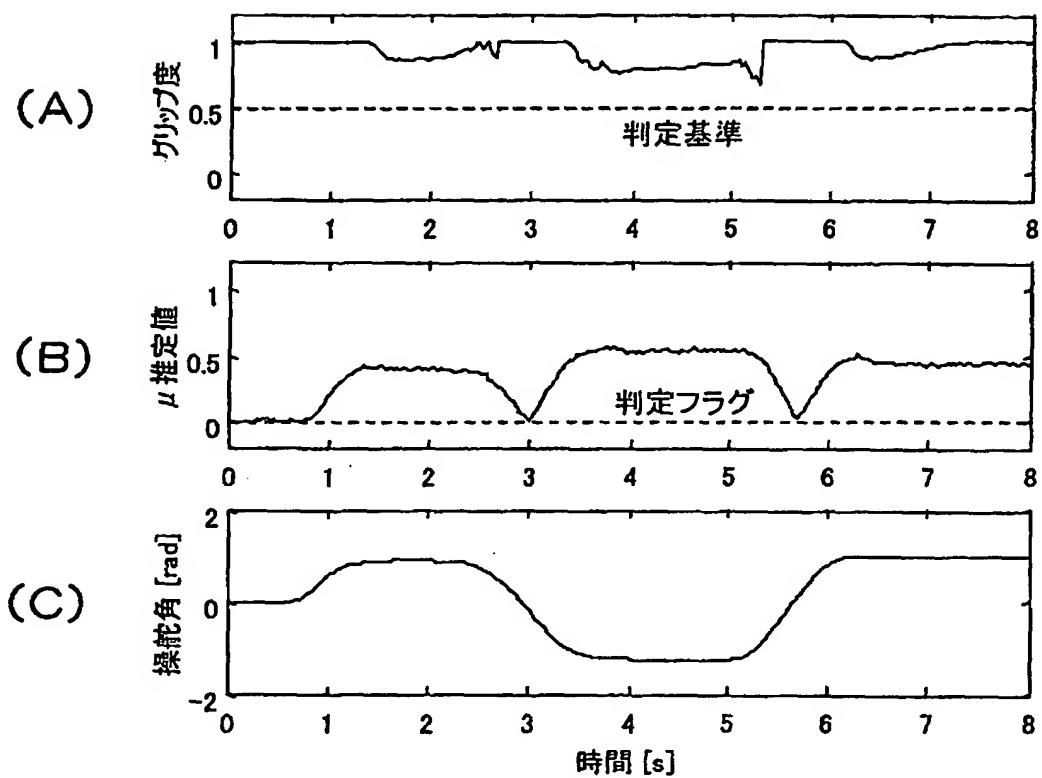
【図10】



【図11】



【図12】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 路面外乱の影響を受けることなく、急に操舵されても精度よく路面摩擦状態を推定する。

【解決手段】 SAT推定部23は、SAT推定値 $T_{SAT}$ を求め、グリップ度推定部30に供給する。加算器29は、ハイパスフィルタ25でフィルタ処理された前輪スリップ角 $\alpha_E$ と、ローパスフィルタ28でフィルタ処理された前輪スリップ角 $\alpha_T$ とを加算して、統合スリップ角 $\alpha_I$ をグリップ度推定部30に供給する。グリップ度推定部30は、統合スリップ角 $\alpha_I$ に基づくSAT基準値 $T_{SAT0}$ を演算し、SAT基準値 $T_{SAT0}$ とSAT推定値 $T_{SAT}$ との比を演算して、横方向の摩擦力余裕に相当するグリップ度 $\varepsilon$ を推定する。路面μ推定部31は、グリップ度 $\varepsilon$ が判定基準以下になったときに路面μを推定する。

【選択図】 図2

出願人履歴情報

識別番号 [000003609]

1. 変更年月日 1990年 9月 6日

[変更理由] 新規登録

住 所 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1  
氏 名 株式会社豊田中央研究所

出願人履歴情報

識別番号 [000003207]

1. 変更年月日 1990年 8月27日

[変更理由] 新規登録

住 所 愛知県豊田市トヨタ町1番地

氏 名 トヨタ自動車株式会社